

УДК 574.4:504.1

УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГА И ПОЧВЫ В ЗОНАХ ПОРАЖЕНИЯ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫБРОСОВ МАГНЕЗИТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н. А. КУЗЬМИНА – младший научный сотрудник,
тел. +7 (912)202-63-49; e-mail: yarkaya05@mail.ru*

С. Л. МЕНЩИКОВ – доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник,
заведующий лабораторией экологии техногенных растительных сообществ,
тел. 8(343)322-56-47; e-mail: msl@botgard.uran.ru*

С. Г. МАХНЕВА – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
тел. 8(343)322-56-47; e-mail: makhniovasg@mail.ru*

К. Е. ЗАВЬЯЛОВ – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник,
тел. 8(343)322-56-33; zavyalov.k@mail.ru*

П. Е. МОХНАЧЕВ – младший научный сотрудник,
тел.: 8(343)322-56-49; e-mail: mohnachev74@mail.ru*

* ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения РАН»,
620144, Россия, Екатеринбург, ул. Билимбаевская, 32а

Ключевые слова: магнезитовое запыление, зоны поражения лесов, кислотность и минерализация снежного покрова, тяжелые металлы в снеге, обменные катионы почвы.

Выбросы магнезитового производства больше века (с 1901 г.) воздействуют на лесную растительность. Проведенные химические исследования снеговой воды показали значительное содержание взвешенных веществ (пыли) в очаге загрязнения, почти в 15 раз выше в зоне сильного повреждения древостоя, чем в зоне слабого поражения лесов. Оседающая на снеговой покров каустическая пыль имеет $\text{pH} > 10,0$, поэтому актуальная кислотность ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) снеговой воды во все годы наблюдений – 8,0–10,0 ед. Нами установлено, что содержание тяжелых металлов в растворенных формах превышает величины предельно допустимых концентраций для поверхностных вод по всем исследуемым зонам. Доля всех элементов меньше в зоне слабого поражения. Если сопоставить данные по кислотности фильтрата и содержанию тяжелых металлов в снеговой воде, то можно наблюдать зависимость между сильнощелочной рН и концентрацией щелочных и щелочноземельных элементов. В результате исследований, проведенных нами с 1983 по 2010 гг., выявлено снижение актуальной кислотности почвы в верхних горизонтах в зонах среднего и слабого воздействия на 0,2–0,5 ед. рН. В зоне сильного поражения снижение данного показателя не обнаружено. Самоочищение почвы в зонах среднего и слабого поражения пройдет интенсивнее при условии более значительного сокращения объемов газообразных выбросов (паров щелочей, серного ангидрида и фтора), определяющих токсическую нагрузку на почвы и растения. Установлено, что при снижении выбросов комбината за 28-летний период происходит частичное самоочищение почвы в результате снижения содержания обменного магния по отношению к кальцию на фоне высокой актуальной кислотности почвы. Анализ состояния опытных культур в районе комбината «Магнезит» показал, что успешное лесовосстановление возможно в настоящее время в зоне среднего и слабого поражения.

THE LEVEL OF SOIL CONTAMINATION, POLLUTION OF SNOW IN THE AREAS OF FOREST VEGETATION DESTRUCTION UNDER THE INFLUENCE OF EMISSIONS MAGNESITE

N. A. KUZMINA – the junior researcher,
phone: 8(343)322-56-47; e-mail: yarkaya05@mail.ru*

S. L. MENSCHIKOV – doctor of agricultural sciences, senior researcher,
head of the laboratory of Ecology Anthropogenic Plant Communities,
phone: 8(343)322-56-47; e-mail: msl@botgard.ru*

S. G. MAKHNIOVA – candidate of biological sciences, senior researcher,
phone: 8(343)322-56-49; e-mail: makhniovasg@mail.ru*

K. E. ZAVYALOV – Candidate of agricultural sciences, research officer,
phone: 8(343)322-56-33; e-mail: zavyalov.k@mail.ru*

P. E. MOKHNACHEV – the junior researcher,
phone: 8(343)322-56-49; e-mail: mohnachev74@mail.ru*

* FSBES «Botanical Garden Ural Branch of Russian Academy of Sciences»;
620134, Bilimbaevskaya str., 32a, Yekaterinburg, Russia

Key words: *magnesite dust pollution, destruction envelope forest, acidity and mineralization snow cover, heavy metals in the snow, exchange cation soils.*

Emissions from magnesite production of more than a century (since 1901) impacts on forest vegetation. A chemical study of snow water showed a significant content of suspended substances (dust) in the source of pollution, almost 15 times higher in the area of strong damage of the forest stand than in the zone of weak destruction of forests. Deposited on snow cover, dust has a caustic $\text{pH} > 10,0$, therefore the actual acidity ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) snow water in all years of observations – 8,0–10,0 units. We found that the content of heavy metals in dissolved forms exceed the value of maximum permissible concentration for surface waters in all studied areas. The content of all elements is smaller in the zone of weak destruction. If we compare the figures for the acidity of the filtrate and the content of heavy metals in snow water, we can observe the relationship between the high alkaline pH and concentration of alkali and alkaline earth elements. The studies conducted by us from 1983 to 2010. the decrease of actual soil acidity in the upper horizons in the zones of moderate and low impact 0,2–0,5 pH units. In the area of strong defeat the decrease is not detected. Self-cleaning of the soil in areas of moderate and low lesions occur more intensively subject to more significant reductions of gaseous emissions (vapors of alkalis, sulphur dioxide and fluoride) that determine the toxic load on the soil and plants. The results of our studies for the reduction of emissions of the plant over the 28 year period there is a partial purification of the soil by reducing the content of exchangeable magnesium relative to calcium in the presence of high actual acidity of the soil. Analysis of the status of the experimental crops in the area of Kombinat «Magnezit» has shown that successful reforestation is possible in the present, in the zone of moderate and low defeat.

Введение

Один из объектов крупных очагов поражения лесной растительности – Саткинский ОАО «Комбинат „Мagnezit“» в Челябинской области на Южном Урале. Высококарбонатное сырье

обжигают таким способом, при котором сырой магнезит Саткинских групп месторождений (фракции 0–40 мм) загружают во вращающуюся печь. Максимальные объёмы выбросов магнезитовой пыли в атмосфе-

ру в 1963 г. достигали 182,5–328,5 тыс. т в сутки. В 1978 г. на комбинате были установлены новые электрофильтры и выбросы пыли снизились до 70–90 т в сутки [1]. После обжига природного магнезита образуется много

каустической пыли, которая проходит повторный обжиг. Каустическая пыль даёт большое количество дымовых газов, в ней присутствует значительно больше щелочей, фтора и серного ангидрида, окислов азотов, чем при обжиге природного магнезита.

Цель данной работы – изучить уровень загрязнения снегового покрова и почвы промышленными выбросами магнезитового производства в динамике в зонах поражения лесной растительности.

Методика и объекты исследования

Исследования проведены на опытных участках (ОУ), заложенных в 1980–1988 гг. Уральской опытной станцией ВНИИЛМ, где произрастает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) и берёза повислая (*Betula pendula* Roth.). Опытные участки расположены в градиенте загрязнения на северо-восток от источника выбросов: ОУ-2 – сильная зона, в 1 км от комбината; на востоке ОУ-5 – средняя зона, в 3 км от источника выбросов; ОУ-4 – слабая зона поражения леса, 10 км; в северо-западном направлении находится условный контроль – 20 км от комбината (район пос. Сулея). Почвенные образцы отбирали на ОУ (ГОСТ 17.4.4.02.84) на глубине 0–10 см. В лабораторных условиях определяли актуальную кислотность (ГОСТ 26423-85) на ионометре рН-340. Металлы из почвы экстрагировали ацетатно-аммонийным буферным

раствором. С помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра nov AA 300 (Analytik Jena, Германия) определяли содержание ионов щелочных и щелочно-земельных металлов в фильтрате снеговой воды.

Результаты исследования и их обсуждение

Актуальность биохимических исследований в настоящее время связана с необходимостью осознания экологической ситуации в целом и является неотъемлемой частью изучения природных и техногенных, измененных наземных экосистем.

Важным аспектом взаимосвязи существования почвы с растениями под влиянием накопленного аэротехногенного воздействия выбросов в очагах загрязнения является комплексность многолетнего исследования.

Очень часто в последние годы снежный покров используется в качестве интегрального показателя загрязнённости атмосферы на территориях, где устойчи-

вый снежный покров в течение длительного периода зимы (6–8 мес.). Применяют нормативные документы для поверхностных вод (ГОСТ 12.1.007-76).

Результаты химического состава снеговой воды за 2012–2014 гг. показали количество взвешенных веществ почти в 15 раз выше в зоне сильного повреждения древостоя, чем в зоне слабого поражения лесов (рис. 1).

Содержание до 30 г/м² поллютантов в твердой фракции (взвешенные вещества) в зоне сильного поражения леса обусловлено максимальным загрязнением атмосферы воздуха твердыми частицами и минерализацией снежного покрова.

Оседающая на снеговой покров каустическая пыль имеет $pH > 10,0$, поэтому pH снеговой воды соответствует сильнощелочной реакции. Анализируя средние значения pH_{H_2O} , видим, что значения выше 9–9,5 – в 2012–2013 гг. во всех зонах. В 2014 гг. в зоне слабого поражения произошло небольшое снижение pH до 8,9 ед. (рис. 2).

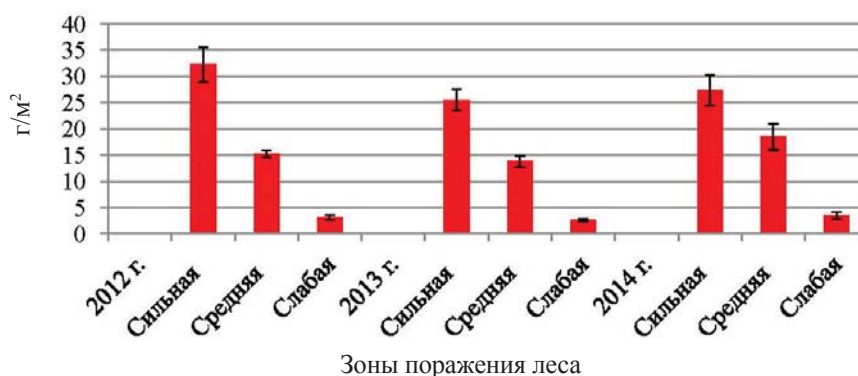


Рис. 1. Динамика содержания взвешенного вещества, г/м²

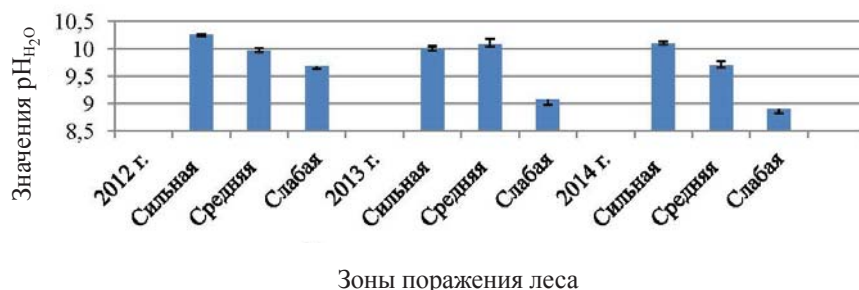


Рис. 2. Динамика показателя pH фильтрата снеговой воды

Результат анализа фильтрата снеговой воды с 2012 по 2014 гг. на содержание щелочных и щелочноземельных элементов показал содержание магния в 2014 г. в зоне сильного поражения выше

в 6 раз (6 г/м^2), кальция в 2013 г. – выше в 14,5 раза ($0,6 \text{ г/м}^2$) по сравнению с таковым в зоне слабого поражения. Содержание натрия во все годы в зоне сильного поражения выше, чем в зоне слабого

и среднего поражения, и в 2013 г. по всем зонам показало высокие значения (табл. 1). Доля всех элементов меньше в зоне слабого поражения. Если сопоставить данные по кислотности фильтрата и содержанию ТМ в снеговой воде, то можно наблюдать зависимость между сильнощелочной pH и концентрацией щелочных и щелочноземельных элементов.

Химический анализ снеговой воды на содержание ТМ, концентрирующихся в течение зимнего периода (за 6–8 мес.) в снежном покрове в исследуемых зонах, приведён в табл. 2.

Таблица 1

Содержание щелочных и щелочноземельных элементов в фильтрате снеговой воды, мг/м^2

Зоны повреждения	Ca	Mg	K	Na
2012				
Сильная	366.7 ± 34.5	6065.2 ± 256.1	219.0 ± 25.3	176.0 ± 19.7
Средняя	269.9 ± 12.5	4002.5 ± 104.4	83.9 ± 6.1	79.5 ± 4.6
Слабая	94.1 ± 8.0	887.8 ± 120.6	23.3 ± 4.5	44.6 ± 8.4
2013				
Сильная	576.6 ± 62.4	7203.0 ± 1179.3	57.01 ± 14.4	232.0 ± 37.0
Средняя	247.2 ± 11.0	2975.0 ± 37.3	47.8 ± 11.7	324.9 ± 30.6
Слабая	39.9 ± 5.4	1057.4 ± 104.1	16.34 ± 2.0	190.3 ± 17.1
2014				
Сильная	405.2 ± 53.9	10871.3 ± 334.0	1.9 ± 0.3	146.1 ± 73.6
Средняя	105.0 ± 21.3	5052.8 ± 806.0	1.8 ± 0.4	33.3 ± 18.9
Слабая	80.6 ± 28.4	1808.3 ± 130.9	1.2 ± 0.08	42.9 ± 32.9

Таблица 2

Среднее содержание ТМ в фильтрате снеговой воды, мг/л , 2014 г.

Тяжелый металл	ПДК, мг/л	Зона повреждения древостоя		
		сильная	средняя	слабая
Mn	0,1	$0,50 \pm 0,07$	$0,56 \pm 0,03$	$1,08 \pm 0,09$
Fe	0,01	$2,54 \pm 0,35$	$1,82 \pm 0,27$	$1,86 \pm 0,09$
Cr	0,003	$0,3 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,06$	$0,21 \pm 0,01$
Zn	0,01	$0,06 \pm 0,02$	$0,007 \pm 0,0006$	$0,02 \pm 0,01$
Pb	0,006	$0,16 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,10$	$0,18 \pm 0,02$
Cu	0,001	$0,19 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,008$	$0,09 \pm 0,01$
Ni	0,003	$0,06 \pm 0,006$	$0,03 \pm 0,005$	$0,03 \pm 0,01$

По современным классификациям свинец, цинк относятся к 1-му классу опасности; медь, никель, хром – к 2-му классу; марганец – к 3-му классу опасности. Как следует из полученных данных, содержание всех ТМ в растворенных формах превышает величины ПДК для поверхностных вод по всем исследуемым зонам [2].

Полученный материал позволяет оценить количественное содержание веществ, которые после снеготаяния попадают в почвы и тем самым показывают уровень техногенной нагрузки.

Содержащиеся в дымовых газах пары щелочей, фтора и серного ангидрида адсорбируются и концентрируются в больших количествах на самих дисперсных частицах каустической пыли вследствие их большой удельной поверхности. Нами установлено, что атмосферные выбросы комбината «Магнезит» оказывают существенное воздействие на химические свойства почв, об этом свидетельствуют полученные высокие показатели актуальной

кислотности (pH_{H_2O}) почвы во всех зонах поражения и содержание щелочных, щелочноземельных и ТМ по сравнению с таковыми в зоне слабого поражения леса.

Анализ полученных данных за период наблюдений показал, что с 1983 по 1990 гг. показатель pH_{H_2O} почвы несколько уменьшался, а в 2005 г. опять увеличился (табл. 3). По ведомственным материалам комбината, с 1978 по 1983 гг. количество годовых аэропромвыбросов (после установки электрофильтров) находилось в объеме 30 тыс. т в год. С 1985 по 1990 гг. объемы выбросов уменьшились до 26 тыс. т в год. С 1999 по 2001 гг. количество выбросов составляло 18 тыс. т в год, а в 2002 г. – 16 тыс. т в год. Снижение показателя pH_{H_2O} в почве при уменьшении выбросов промышленных предприятий отмечено во многих работах [1]. В результате исследований, проведенных нами с 1983 по 2010 гг., выявлено снижение актуальной кислотности почвы в верхних горизонтах в зонах

среднего и слабого воздействия на 0,2–0,5 ед. рН. На опытных участках в зоне сильного поражения снижение данного показателя не обнаружено. Самоочищение почвы в вышеуказанной зоне происходит крайне медленно даже при снижении или полном прекращении выбросов в результате низкой подвижности большинства металлов в щелочной среде [4]. Возможно, самоочищение почв в зонах среднего и слабого поражения пройдет интенсивнее при условии более значительного сокращения объемов газобразных выбросов (паров щелочей, серного ангидрида и фтора), определяющих токсическую нагрузку на почвы и растения.

Результаты анализов показали (рис. 3), что естественное соотношение между элементами в почвенном поглощающем комплексе нарушено: в 1983 г. обменный магний доминирует в зоне запыления, в то время как в условном контроле вне запыления – кальций. А в 2008–2011 гг. соотношение обменных катионов существенно изменилось

Таблица 3

Изменение актуальной кислотности в различных зонах магнезитового загрязнения в верхнем (0–10 см) слое почвы в разные годы

Расстояние от источника выбросов, км	pH_{H_2O} по годам				
	1983	1990	2005	2009	2010
Зона сильного поражения					
1	8,9	8,2	8,9	8,8	8,9
Зона среднего поражения					
3	8,8	8,0	8,5	8,0	8,3
Зона слабого поражения					
10	7,7	7,0	7,6	7,4	7,3
Условный контроль					
20	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	Нет свед.	5,88

в сторону увеличения обменного кальция на фоне высокого содержания магния и высокой кислотности почвы.

Исследования показали, что при снижении выбросов комбината за 28-летний период происходит частичное самоочищение почвы в результате снижения содержания обменного магния по отношению к кальцию на фоне высокой актуальной кислотности почвы.

Выводы

Химическим анализом снеговой воды установлено значительное повышение взвешенных веществ (пыли) во все годы наблюдения в очаге загрязнения. Анализ снеговой воды показал содержание железа, хрома и марганца на расстоянии до 3 км от источника выше от 60 до 90% в сравнении с таковым на условном контроле (К1). Содержание цинка в 1 км от источника в 4,6 раза больше, свинца –

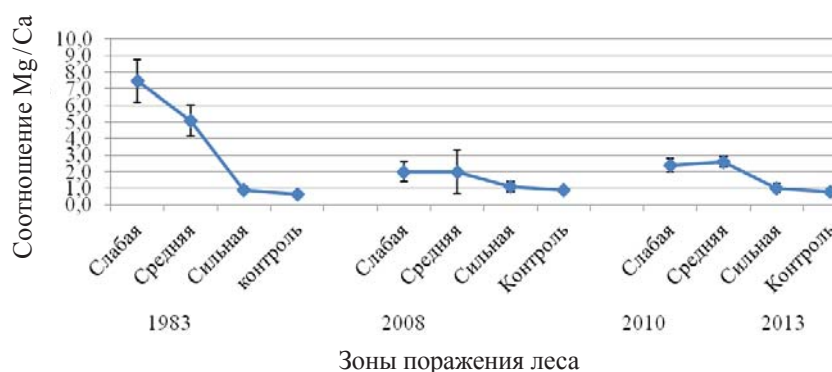


Рис. 3. Динамика соотношения обменных катионов Mg^{2+} к Ca^{2+} в почве в зонах повреждения древостоя

в 8 раз, меди и никеля – в 2 раза, кадмия – в 86 раз больше, чем на контроле. Масса калия и натрия в фильтрате снеговой воды выше на расстоянии 1 км в 3–8 раз, чем на контроле.

С 1983 по 2010 гг. актуальная кислотность pH_{H_2O} почвы изменялась в сторону уменьшения во всех зонах поражения лесов от 1,2 до 1,6 ед.

Обменный магний в почве доминирует в зоне запыления, в то время как на условном контроле

вне запыления – кальций. По результатам проведённых исследований выявлено, что в условиях снижений выбросов за последние 28 лет произошло частичное самоочищение почвы – снижается содержание обменного магния по отношению к кальцию.

Анализ состояния опытных культур в районе комбината «Магнезит» показал, что успешное лесовосстановление возможно в настоящее время в зоне среднего и слабого поражения.

Библиографический список

1. Менщиков С. Л., Кузьмина Н. А., Мохначев П. Е. Воздействие атмосферных выбросов магнезитового производства на почвы и снеговой покров // Изв. Оренбург. гос. аграрн. ун-та. 2012. № 5 (37). С. 221–224.
2. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 1976.
3. Распределение деревьев опытных культур *betula pendula* roth. по ступеням толщины и уровень загрязнения почвы в зоне действия выбросов комбината «Магнезит» / С. Л. Менщиков, К. Е. Завьялов, Н. А. Кузьмина, П. А. Мохначев, И. С. Цепордей // Успехи современного естествознания. 2016. № 10. С. 84–89.
4. Barcan V. Leaching of nickel and copper from soil contaminated by metallurgical dust // Environ. Int. 2002. V. 28. № 1–2. P. 63–68.

Bibliography

1. Menshikov S. L., Kuzmin N. A., Mokhnachev P. E. Atmospheric emissions from magnesite production in the soil and snow cover // Izvestia Orenburg State Agrarian University Theoretical and Practical. 2012. No 5 (37). P. 221–224.

2. GOST 12.1.007-76. Harmful substances. Classification and General safety requirements. M.: Publishing house of standards, 1976.
 3. Distribution of trees, experimental cultures of birch pendula Roth, the steps of the thickness and contamination level of the soil in the zone of emissions of Kombinat «Magnezit» / S. L. Menshikov, K. E. Zav'yalov, N. A. Kuzmina, P. A. Mokhnachev, Iv. S. Tcepordei // The success of modern science. 2016. No. 10. P. 84–89.
 4. Barkan V. Leaching of Nickel and copper from soil contaminated by metallurgical dust // Okra. Int. 2002. V. 28, No. 1–2. P. 63–68.
-

УДК 631.531:582.475.4:504.062

КАЧЕСТВО ПЫЛЬЦЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ВЫБРОСАМИ РЕФТИНСКОЙ ГРЭС

С. Г. МАХНЕВА – кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник,
ФГБУ Ботанический сад УрО РАН,
620000, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а,
тел.: +7 (922) 615-51-10, e-mail: makhniovasg@mail.ru

Ключевые слова: сосна обыкновенная, репродукция, пыльца, аномалии пыльцевого зерна, техногенное загрязнение, ГРЭС.

Целью работы были изучение процесса микрогаметогенеза и диагностика качества пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в древостоях, подверженных воздействию дымовых выбросов Рефтинской ГРЭС. В зоне оседания аэрополлютантов Рефтинской ГРЭС в юго-восточном направлении сформированы зоны техногенного загрязнения, различающиеся по качественному составу загрязняющих веществ снегового покрова и их количественным параметрам. С удалением от источника аэрополлютантов закономерно снижается содержание в талой снеговой воде нерастворимых соединений, составляющих взвешенное вещество. Наибольшее содержание водорастворимых соединений установлено на удалении 5, 8 и 14 км от источника аэрополлютантов, достоверно ниже – на ближайших и наиболее удаленных точках отбора проб снега. Среднепопуляционные значения показателей фертильности пыльцы и содержания запасных веществ в зрелой пыльце сосны в градиенте техногенного загрязнения снижаются с удалением от источника аэрополлютантов в ряду ПП-1 > ПП-2 > ПП-3, а в фоновом древостое возрастают. Показатель прорастания пыльцы на питательной среде, напротив, возрастает в направлении ПП-1 < ПП-2 < ПП-3, затем снижается до значений ПП-1. Показатель длины пыльцевой трубки имеет максимальные значения для пыльцы ПП-2. Установлено, что основной вклад в стерильность пыльцы сосны вносят пыльцевые зерна с цитологическими нарушениями, за исключением ПП в фоновых условиях, где несколько выше доля мелких пыльцевых зерен. Максимум частоты пыльцы с цитологическими нарушениями выявлен для ПП на удалении 9 км от ГРЭС (выше в 2,9–16,3 раза, чем на других ПП). Таким образом, пул пыльцы сосны обыкновенной из зон техногенного загрязнения характеризуется высокой частотой цитоморфологических и функциональных нарушений. Участие такой пыльцы в репродукции может привести к снижению качества семян и жизнеспособности сеянцев. Выявлены показатели пыльцы сосны обыкновенной (частота мелких пыльцевых зерен, сумма пыльцевых зерен с морфологическими аномалиями, ветвление пыльцевой трубки), обладающие прогностической ценностью в отношении суммарной техногенной нагрузки на экосистемы.